

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-54/32 (10. 9. 54)

E. Persico: CONSIDERAZIONI SUL COSTO E SULL'INTENSITA'

Gruppo Teorico

Rapporto n. 15

E. Persico

CONSIDERAZIONI SUL COSTO E SULLA INTENSITA'

Scopo di questo rapporto è di fornire dei criteri di confronto tra diversi possibili progetti di sincrotrone, non molto diversi dal progetto III (Tiburtino), in base al costo del magnete e della sua eccitazione, nonché all'intensità del fascio di elettroni ottenibile.

I ragionamenti che seguono sono fondati su ipotesi largamente semplificative e formule grossolanamente approssimate. Pensiamo che ciò sia lecito perchè:

- a) si tratta di fornire solo un criterio qualitativo di confronto e non di fare preventivi assoluti;
- b) si confrontano solo macchine poco diverse tra loro;
- c) il costo e l'intensità sono comunque elementi che non è possibile prevedere esattamente.

1 - Valutazione della intensità relativa.

Dalla formula (26) del rapporto n° 4 si ricava, per il numero  $N$  di elettroni catturati in ogni impulso, una espressione del tipo

$$(1) \quad N = N_0 (\Lambda R)^{3/4} a'^{3/2}$$

dove:  $R$  è il raggio dell'orbita principale;

$\Lambda = 1 + \frac{2L}{\pi R}$  è il coefficiente di allungamento dell'orbita dovuto ai tratti dritti;

$a'$  è la parte della larghezza  $a$  della ciambella che è riservata alle oscillazioni di betatrone e sincrotrone;

$N_0$  è una espressione dipendente dalla intensità del fascio iniettato, dalla sua struttura ottico-elettronica, dalla spiralizzazione e dall'ordine di armonica della radiofrequenza. Confrontando (come supporremo sempre di fare) due macchine per cui questi elementi sono gli stessi,  $N_0$  sarà da considerare come una costante.

La (1) vale nell'ipotesi che la durata dell'iniezione sia limitata dagli urti contro le pareti e non dalla durata dell'impulso dell'iniettore.

Per la valutazione di  $a'$  adotteremo il criterio seguente. Il margine  $a-a'$ , riservato a:

oscillazioni per irregolarità del campo;

errore di modulazione della R.F.;

effetto di carica spaziale;

sarà preso proporzionale ad  $R$ :

$$a-a' = A_1 R.$$

Per attribuire un valore al coefficiente  $A_1$  prendiamo a base il criterio adottato da Sands nel nuovo sincrotrone del Caltech (v. lettera Sands 13 febbraio 1954) in cui, in seguito a una discussione particolareggiata dei tre elementi di cui sopra, viene scelto  $a'-a=9$  cm, con  $R=376$  cm. Ne risulta  $A_1=2.4 \times 10^{-2}$ . Perciò adotteremo, per tutte le macchine che confronteremo

$$(2) \quad a' = a - 2.4 \cdot 10^{-2} R.$$

Passiamo ora a definire ciò che possiamo chiamare intensità relativa I di ognuna delle macchine che prenderemo in esame. Assumeremo come tale il rapporto tra il numero  $N$  di elettroni catturati secondo la (1), e il numero analogo per una macchina di riferimento, funzionante nelle stesse condizioni di iniezione. Come macchina di riferimento avente, per convenzione, l'intensità 1 assumiamo il progetto III, o Tiburino (v. rapp. n° 10), avente  $R=333$ ,  $\Lambda=1.19$ ,  $a=16.7$ , da cui con la

(2),  $a' = 8.7$  cm. Avremo allora da (1)

$$(3) \quad I = \left( \frac{R \Lambda}{395} \right)^{3/4} \left( \frac{a'}{8.7} \right)^{3/2}$$

e, se confrontiamo macchine aventi tutte  $\Lambda = 1.19$ ,

$$(3') \quad I = \frac{R^{3/4} a'^{3/2}}{2000} \quad (R, a' \text{ in cm}).$$

## 2 - Valutazione del costo.

Distinguiamo il costo  $P_m$  del magnete e il costo  $P_e$  della sua eccitazione.

Ammettiamo che il costo del magnete sia proporzionale al volume del traferro e quindi, approssimativamente, al prodotto  $abR$ . Scriviamo perciò

$$P_m = D_m abR.$$

Per valutare il coefficiente  $D_m$ , prendiamo a base il costo di 110 ML previsto per il magnete del progetto Tiburtino (lettera Salvini 8/9/54). Risulta allora

$$(4) \quad P_m = 3300 abR \cdot 10^{-6} \quad (\text{cm, ML})$$

Come costo della eccitazione intendiamo quello dei condensatori e del choke-coil, che si può ritenere grossolanamente proporzionale all'energia magnetica immagazzinata, e quindi ad  $abRB^2$ , dove  $B$  è il valore dell'induzione alla fine del ciclo (il quale può essere, per ragioni di economia, inferiore al valore di saturazione). Invece di  $B$ , conviene introdurre il corrispondente valore dell'energia  $E$  degli elettroni che è proporzionale a  $BR$ . Quindi il costo della eccitazione risulta

$$P_e = D_e ab \frac{E^2}{R}$$

Per valutare il coefficiente  $D_e$  prendiamo a base il costo di 190 ML previsto<sup>(1)</sup> per l'eccitazione del magnete del Tiburtino con  $E=1000$  MeV. Risulta allora

$$P_e = 640 ab \frac{E^2}{R} \cdot 10^{-6} \quad (\text{cm, MeV, ML}).$$

Assumeremo dunque come costo complessivo del magnete e della eccitazione

$$(5) \quad P = ab(3300 R + 640 \frac{E^2}{R}) \cdot 10^{-6} \quad (\text{cm, MeV, ML}).$$

Si ricordi che questo costo non comprende il basamento del magnete e lo schermaggio. Il costo di questi elementi aumenta col raggio in modo difficile da precisare.

### 3 - Confronto di vari progetti.

Per mezzo delle formule precedenti abbiamo calcolato la intensità relativa  $I$  e il costo  $P$  per diverse varianti del progetto Tiburtino. I risultati sono contenuti nella tabella annessa, che passiamo a commentare brevemente riga per riga.

N° 1 - Sincrotrone del Caltech. I dati di questa macchina vengono qui riportati per confronto: le valutazioni di costo e intensità sono riportate fra parentesi perchè hanno scarso significato, essendo le condizioni di questa macchina notevolmente diverse da quelle delle altre che prendiamo in esame.

N° 2 - Tiburtino. Si noti che in questo progetto le aperture relative  $a/R$ ,  $b/R$  sono ancora inferiori a quelle della macchina del Caltech, le quali sono già di gran lunga le più piccole finora realizzate in una macchina a foceggiamento debole.

---

(1) Cifra dedotta indirettamente ( in mancanza di preventivi più precisi) da un dato contenuto nella citata lettere Salvini.

Il progetto Tiburtino rappresenterebbe dunque, da questo punto di vista, il più audace sincrotrone finora costruito o progettato.

N° 3 - Tiburtino  $M_1$ . Differisce dal Tiburtino solo per un aumento del 15% nel raggio, suggerito da Salvini (lettera del 1'8/9/54) per poter eventualmente superare, in un secondo tempo, i 1000 MeV di energia. Essendo rimasta invariata la sezione, le aperture relative sono ancora minori che nel Tiburtino. Ne risulta, come si vede, una minore intensità (e naturalmente anche una maggiore difficoltà di messa a punto). Il costo P rimane lo stesso (per  $E=1000$  MeV) perchè il campo finale è di soli 870 Gs, il che fa risparmiare sulla eccitazione quasi esattamente ciò che si spende in più per la maggior mole del magnete. Va ricordato che qui non è considerato l'aumento di spesa per l'edificio, il basamento e la schermatura.

Per portare, in un secondo tempo, l'energia al valore massimo (circa 1150 MeV) occorrerebbe spendere altre 48 ML per l'eccitazione (oltre al costo della maggior tensione per la R.F.).

N° 4 - Tiburtino  $M_2$ . Ha il raggio del Tiburtino  $M_1$  ma la sezione orizzontale allargata in modo da ricondurre l'intensità a quella del Tiburtino, e la sezione verticale aumentata in modo da portare  $b/R$  al valore 0.2 adottato nel Caltech. Il costo, per conseguenza, aumenta (per  $E=1000$  MeV) di 82 ML. La spesa supplementare per portare l'energia a 1150 MeV sarebbe, per la sola eccitazione, di 68 ML.

N° 5 - Tiburtino  $M_2$ , a regime ridotto. Per riportare il costo a quello del Tiburtino, si può in un primo tempo far funzionare il Tiburtino  $M_2$  a regime ridotto, contentandosi dell'energia di 790 MeV.

N° 6 - Tiburtino A. E' un "Tiburtino allargato" in quanto, conservando il raggio del Tiburtino (e quindi l'energia massima di 1000 MeV) si è allargata la sezione della ciambella, sia orizzontalmente che verticalmente, in modo da portare  $a/R$  e  $b/R$  ai valori del Caltech. Con ciò si avrebbe, rispetto al Tiburtino, un aumento di intensità di circa 50% e un aumento di costo di circa 93 ML. E' da tener presente però che la minor difficoltà di aggiustamento porterebbe un sensibile risparmio di tempo e quindi di denaro.

N° 7 - Tiburtino A, a regime ridotto. Per riportare il costo del Tiburtino A a quello del Tiburtino, basterebbe ridurre in un primo tempo l'energia a 790 MeV, riservandosi di portarla a 1000 MeV in un secondo tempo.

CONFRONTO DI VARI PROGETTI

N°	R	E	a	b	a/R	b/R	I	P
	cm	MeV	cm	cm	%	%		ML
1	376	1130	22.0	7.5	5.9	2.0	(2.1)	(565)
2	333	1000	15.7	6.0	5.0	1.8	1.0	300
3	381	1000	15.7	6.0	4.4	1.6	0.9	300
4	381	1000	17.3	7.5	4.5	2.0	1	382
5	381	790	17.3	7.5	4.5	2.0	1	300
6	333	1000	19.5	6.7	5.9	2.0	1.5	393
7	333	790	19.5	6.7	5.9	2.0	1.5	300